

В.М. КОВБАСА., д-р техн. наук, А.І. СОКОЛЕНКО, д-р техн. наук,
О.Ю. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, В.А. ПІДДУБНИЙ, канд. техн. наук
Національний університет харчових технологій, м. Київ

ЕНЕРГОВИТРАТИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ

В статті наведено результати досліджень по визначенню енерговитрат в різних комбінаціях транспортних систем. **Ключові слова:** енерговитрати, насипні вантажі, транспортна система.

Транспортно-технологічні системи (ТТС) приймання і зберігання зерна будуються як комплекси, що складаються з бункерів, транспортуючих машин і технологічного обладнання. Розрахунки ТТС ґрунтуються на врахуванні показників місткості, пропускної здатності, геометрії системи тощо. Вибір вказаних співвідношень належить до розряду оптимізаційних задач, розв'язання яких може мати певні економічні наслідки. Особливо це стосується випадків, які відповідають нетиповим за своєю архітектурою комплексам [1-4].

У зв'язку з викладеним у цьому дослідженні наведено результати, пов'язані з вибором геометрії траси переміщення вантажів, співвідношення по енергетичному забезпеченню та визначенню деяких геометричних та силових параметрів.

Механічні транспортні системи

Транспортні системи вирішують завдання переміщення насипних і штучних вантажів.

Вибір траси конвеєра часто пов'язаний з необхідністю враховувати архітектурні особливості виробничих приміщень, проте проектування їх і компонування потокових ліній мають враховувати відомі закономірності. Розглянемо деякі приклади.

Нехай розв'язується задача передачі штучного вантажу масою m з позиції А рівня I-I у позицію В

рівня II-II за відстані H між зазначеними рівнями (рис.1).

Оцінимо енерговитрати для двох випадків. Не-

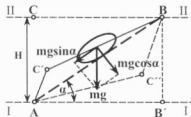


Рис. 1. Розрахункова схема.

хай у першому випадку вантаж переміщується спочатку на вертикальний ділянці AC, а потім – на горизонтальній CB. У другому випадку переміщення здійснюватиметься на похилій площині AB.

Енерговитрати на вертикальний ділянці (без урахування втрат у приводі)

$$A_a = mgH,$$

а на горизонтальній –

$$A_a = fmgH \cot \alpha,$$

де f – коефіцієнт тертя вантажу на опорний поверхні.

Тоді для першого випадку масою

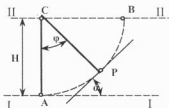


Рис. 2. Схема з трасою у формі чверті дуги кола.

$$A_1 = A_n + A_r = mgH + f mgH \operatorname{ctg} \alpha = mgH (1 + f \operatorname{ctg} \alpha). \quad (1)$$

Для другого випадку маємо

$$A_2 = mg \frac{H}{\sin \alpha} + f mg \frac{H}{\sin \alpha} \cos \alpha = mgH (1 + f \operatorname{ctg} \alpha). \quad (2)$$

Як бачимо, енерговитрати на переміщення вантажу з позиції А в позицію В від форми обраної траси не залежать. Для траси АСВ і АС'В результат буде аналогічним, як і для будь-якої іншої траси, обраної в зоні площі АСВВ' на рис. 1. Наприклад, для випадку, коли АС=СВ, трасу виберемо у формі чверті дуги кола (рис. 2). Кут α тут змінюватиметься від 0 до $\pi/2$. При цьому кути α і φ між собою рівні, як кути із взаємно перпендикулярними сторонами. Оскільки радіусом траєкторії переміщення є відстань Н, то робота сил тертя на елементарному переміщенні

$$dA_r = f mgH \cos \varphi d\varphi. \quad (3)$$

Тоді робота сил тертя на всьому переміщенні

$$A_r = \int_0^{\pi/2} f mgH \cos \varphi d\varphi = f mgH \int_0^{\pi/2} \cos \varphi d\varphi = f mgH. \quad (4)$$

а загальні енерговитрати

$$A = mgH + f mgH = mgH(1 + f). \quad (5)$$

Для випадку, коли АС=СВ=Н, маємо $\alpha=45^\circ$, $\operatorname{ctg} \alpha=1$, тоді значення A_2 і А збігаються. Отже, площа АСВВ' обмежена рівняннями I-I і II-II та перпендикулярами до них у крайніх точках, для будь-яких траєкторій переміщення вантажів "на підйом" є ізопотенціальною зоною, для якої робота переміщення вантажу з точки А в точку В дорівнює сумі робіт на вертикальному mgH і горизонтальному $fmgH \operatorname{ctg} \alpha$ переміщеннях із подоланням сил тертя fmg .

Зазначене правило є справедливим для конвеєрів та елеваторів, що переміщують і штучні, і насипні вантажі.

З наведеного матеріалу випливає, що енергетично найвигіднішим є підймання вантажів по вертикалі, оскільки при цьому зникають сили тертя. Якщо ж у виборі траси неможливо відмовитися від суміщення ділянок горизонтального і вертикального переміщення, то, пам'ятаючи про ізопотенціальну зону, варто зупинитися на рішенні, що забезпечує мінімізацію довжини траси. Це за інших однакових умов знижує капітальні й енергетичні витрати, пов'язані з подоланням сил опору переміщенню робочої і холостої гілок транспортувальної машини. Такому виборові відповідає прямолінійна траса АВ.

Наведені залежності стосуються випадків рівномірного руху вантажів, що в багатьох випадках від-

повідає реальним режимам роботи транспортуючих пристроїв.

Для оцінки впливу прискореного руху на енерговитрати розглянемо випадок переміщення вантажу на горизонтальній площині. В першому наближенні вважатимемо, що рух є рівноприскореним і друга похідна координати переміщення $\ddot{x} = \text{const}$.

Тоді загальні енерговитрати в перехідному процесі

$$A = m \dot{x} \cdot x_{(k)} + f mg x_{(k)}; \quad (6)$$

де $x_{(k)}$ — кінцеве значення координати переміщення тіла, що відповідає завершенню перехідного процесу.

За умов, що початкове значення координати переміщення $x_{(0)}=0$ і $\dot{x} = \text{const}$, маємо кінцевий час

$$t_{(k)} = \frac{x_{(k)}}{\dot{x}}, \quad (7)$$

$$\text{а середня швидкість } \dot{x}_{(k)} = \frac{x_{(k)}}{t_{(k)}}.$$

Тоді величина переміщення становитиме

$$x_{(k)} = \dot{x}_{(k)} \cdot t_{(k)} = \frac{(\dot{x}_{(k)})^2}{2\ddot{x}}, \quad (8)$$

а енерговитрати перехідного процесу

$$A = m \dot{x} \frac{(\dot{x}_{(k)})^2}{2\ddot{x}} + f mg \frac{(\dot{x}_{(k)})^2}{2\ddot{x}} = \frac{(\dot{x}_{(k)})^2}{2} \left(m + \frac{f mg}{\ddot{x}} \right). \quad (9)$$

З аналізу рівняння (9) та з урахуванням закону збереження енергії витікає, що величина енерговитрат, пов'язаних з розгоном маси, не залежить від закону руху маси, а визначається кінцевим значенням швидкості $\dot{x}_{(k)}$. В режимі вибігу виконана кінетична енергія витрачається на подолання сил тертя.

Гравітаційні транспортні пристрої

Гравітаційні транспортні пристрої виконують у формі труб і жолобів. Насипні та штучні вантажі в них рухаються під дією сил тяжіння, а сили тертя протидіють переміщенню. Сили опору повітря в розрахунок таких пристроїв звичайно не враховують через порівняно малу швидкість. У зв'язку із цим енергія сил тяжіння витрачається на подолання опору сил тертя та прирощення кінетичної енергії маси m (кг) вантажу:

$$mgh = mgl \cos \beta + \frac{m(v_{(k)}^2 - v_{(0)}^2)}{2}, \quad (10)$$

де h — різниця рівнів переміщення вантажів, м; f — коефіцієнт тертя; l — довжина похилої площини, м; $v_{(k)}$ і $v_{(0)}$ — кінцева і початкова швидкості руху вантажу, м/с; β — кут нахилу похилої площини до лінії горизонту, град.

Якщо задано швидкості $v_{(0)}$ і $v_{(k)}$ і різниця рівнів h , то кут β , під яким необхідно розташувати похилу площину, визначається за умови

$$\beta = \arctg \frac{2ghf}{2gh + v_{(k)}^2 - v_{(0)}^2}. \quad (11)$$

Якщо відома початкова швидкість і задано кут нахилу β , то кінцева швидкість:

$$v_{(k)} = \sqrt{2gh(1 - f \operatorname{ctg} \beta) + v_{(0)}^2}. \quad (12)$$

За умови $v_{(k)}=v_{(0)}$, тобто за руху вантажу з постійною швидкістю, $\beta_0 = \arctg f$. Прискорений рух ($v_{(k)} > v_{(0)}$) досягається, якщо $\beta > \beta_0$, а сповільнений — за умови $\beta < \beta_0$.

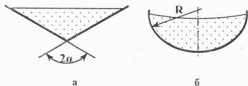


Рис. 3. Схеми поперечних перерізів жолобів.

Якщо вантаж переміщується по жолобу прямокутної або закругленої форми, то підраховується приведений коефіцієнт тертя ковзання, який враховує опір переміщенню по дну і бокових стінках (рис. 3).

Для випадку "а" приведений коефіцієнт тертя визначається за виразом $f_{\text{пр}} = \frac{f}{\sin \alpha}$, (13)

а для випадку "б" – $f_{\text{пр}} = 1,27f$. (14)

Звичайно швидкість руху насипного вантажу по жолобам приймають до 2,5 м/с, а коефіцієнт заповнення жолоба становить $\psi = 0,5 \dots 0,7$. Тоді площа поперечного перерізу дорівнюватиме $F_v = \frac{V}{3600 \psi \varphi}$, (15)

де V – об'ємна пропускна здатність пристрою, м³/год. За відомої масової пропускної здатності Q (т/год) отримуюмо $F_v = \frac{Q}{3,6 \nu \rho \psi}$, (16)

де ρ – насипна маса вантажу, кг/м³.

Переміщення вантажів на вертикальних ділянках можливе за рахунок вільного падіння, проте технологічні обмеження зумовлюють необхідність використання спіральних спусків. Форма жолоба при цьому найчастіше близька до заокругленої, а гвинтова лінія, що утворює жолоб, має мінімальний кут підйому на периферійній частині, а максимальний у центрі. Цим визначається характерна властивість спіральних спусків – саморегулювання у певних межах швидкості руху вантажу. Зростання швидкості (відносно якогось середнього значення) призводить до збільшення відцентрових сил, вантаж притискається до борту жолоба. При цьому кут нахилу гвинтової лінії, по якій він

рухається, зменшується, а сила тертя і шлях зростають, унаслідок чого рух вантажу уповільнюється. Практично швидкість у режимах усталеного руху коливається в деяких межах навколо середнього значення.

Перевагами спіральних спусків є простота конструкції, можливість досягнення високої пропускної здатності й відсутність рухомих частин. За закритого випускного отвору такий спуск можуть використовувати як накопичувач. Наближене визначення кута підйому і кроку гвинтової лінії за заданої швидкості руху вантажу зробимо з урахуванням рушійних складових сил тяжіння і сил тертя по дну і зовнішньому борту жолоба:

$$mg \sin \alpha - mg f \cos \alpha = m(v \cos \alpha)^2 \frac{f}{R_v}, \quad (17)$$

де α – кут підйому гвинтової лінії на радіусі R_v , по якому рухається частка.

Задаючи швидкість і визначивши α , знаходять крок гвинтової лінії $t = 2\pi R_v tga$. (18)

Звичайно швидкість вантажу становить 2,5...3,0 м/с, а кут підйому гвинтової лінії на периферії – близько 45°.

Висновки: 1. Енергетичні витрати в системі транспортування вантажів в гравітаційному полі за інших рівних умов не залежать від форми траси, а визначаються лише координатами початку і кінця траси. 2. Робота сил тертя для різних схем траси системи за інших рівних умов залишається сталою і рівною добутку сил тертя fmg на довжину горизонтальної проекції траси.

3. Робота сил інерції не залежить від закону руху тіла і визначається кінцевим значенням швидкості $\frac{m(v_{\text{кін}})^2}{2}$.

4. В жолобчастих гравітаційних опускних пристроях кут сходження граней 2α визначає величину приведенного коефіцієнта тертя і можливість регулювання за його зміни кінематики переміщення насипних і штучних вантажів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Соваленко А.І., Українець А.І., Піддубний В.А. Транспортно-технологічні системи пшавиків. – К.: АртЕк, 2002. – 304с.
- Соваленко А.І., Яровий В.Л., Бут С.А. Гравітаційні опускні пристрої. К.: РВЦ НУХТ, 2004. – 35с.
- Кривоноз А.П., Кузінський А.А., Беспалко А.П., Буров А.А., Кудрявцев Г.П. Пакетоформирующие машины. М.: Машиностроение, 1982. – 239с.

- Соваленко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А., Васильківський К.В., Шевченко О.Ю. Моделирование процессов пакувания. Вінниця: Нова книга, 2004. – 272с.

Поступила 06.2005

Адрес для листування:

Національний університет харчових технологій, вул., Володимирська, 68, м. Київ, 01033

